

制御用LANにおける通信制御方式に関する研究

著者	厚井 裕司
号	60
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/12747

氏 名 (本 籍)	こ　　い　　ゆう　　じ 厚　井　裕　司	(神奈川県)
学 位 の 種 類	博 士 (情 報 科 学)	
学 位 記 番 号	情 博 第 60 号	
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 3 月 25 日	
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
研 究 科 , 専 攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) 情報基礎科学専攻	
学 位 論 文 題 目	制御用 LAN における通信制御方式に関する研究	
論 文 審 査 委 員	(主 査) 東北大学教授 白鳥 則郎	東北大学教授 根元 義章
	東北大学教授 阿曾 弘具 (工学研究科)	東北大学助教授 木下 哲男

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

リアルタイムネットワークを実現するには物理回線の広帯域化に加え、高い処理性能のリアルタイム通信プロトコルが必要である。現在までにこの分野に対して数多くの研究が行われているが、媒体共有型の制御用 LAN 環境で実施したものはほとんど存在しない状況であり、今後の研究開発の必要性が叫ばれるようになった。そこで筆者は、制御用 LAN における通信制御方式に関して、タイムクリティカル通信プロトコルと帯域予約プロトコルならびに非リアルタイム通信系の収容方法について詳細な研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全編 6 章から成る。

第 2 章 タイムクリティカル通信プロトコル

タイムクリティカル通信に適したものとして、FDDI-LAN に使用されている Timed Token Protocol に独自のアルゴリズムを追加したプロトコルを提案・評価し、高速性と時間的制約保証を可能としている。この結果は、指定された時間内にデータ転送を行う必要があるプロトコル設計に非常に有効である。

(1)入力トラヒック量に応じて動的に各ノードが転送データ量を調節し、タイムウィンドウを超過するデータを廃棄するとともに、残りのデータを確実にタイムウィンドウ以内に受信側ノードに転送する TTP 拡張通信方式 (TTCP) を提案した。さらにノード間で到着したトラヒック量を通知する手順および自ノードへのトラヒック入量に基づいて、タイムウィンドウを超過するデータを振り分ける機能を定義した。

(2)提案した TTCP についてシミュレーションにより、以下に示す通信特性について、TTP との比較を交えつつ明らかにした。

- ・過大なタイムクリティカルデータのタイムクリティカル性への影響
- ・ふくそう後におけるタイムクリティカル送信キュー長の変化
- ・ノード数のタイムクリティカル性への影響
- ・タイムウィンドウ幅のタイムクリティカル性への影響
- ・非タイムクリティカルデータがタイムクリティカル性に及ぼす影響

(3)この結果、タイムウィンドウ内に送信されたデータの割合は TTP に比べ大幅に増加し、ふくそう時の性能は改善された。また、有効データ率は入力トラヒック量の変化に対し緩やかに推移し、高入力トラヒック時にも急激な性能の

悪化を招くことはないことが判明した。すなわち、主な特長として次の3点が挙げられる。

- ・ふくそうの有無にかかわらずにタイムクリティカルデータをタイムウィンドウを満足させつつ転送できる
- ・入力トラヒックが過大でない場合、ノード数、タイムウィンドウ値、TCデータの割合などにタイムクリティカル性が影響されない
- ・送信タイムクリティカルデータを蓄積するバッファ量を少なくできる

(4)従来のTTPでは、一度ふくそうが起きると、先に発生したデータが処理されない限り後のデータが処理されないため、著しくタイムクリティカル性が損なわれる。しかしながら本プロトコルではタイムウィンドウを経過したデータを廃棄することで、同期データに対する有効な帯域を確保し続け、タイムクリティカル通信を継続できることが示された。すなわち、本プロトコルはトラヒック変動に対する安定性が極めて高いといえる。

第3章 トークン保持時間可変タイムクリティカル通信プロトコル

特定ノードの高負荷時の性能低下を防ぎ、かつタイムクリティカル通信に適したプロトコルとして、Timed Token Protocolを基にトークン保持時間の動的制御方式のアルゴリズムを提案するとともに、シミュレーションによりそのタイムクリティカル通信特性を示し、その有効性を示す。本プロトコルはLANを利用した処理形態が集中か分散に係らず時間的制約保証を実現するもので、プラント制御などに実用上有用な成果となる。

(1)上記のTTCPを改善すべく、各ノードに固定的に割り当てられているトークン保持時間(TTHT)の制御を取り除き、かつ従来のTTPやTTCPが保証しているトークン巡回間隔の上限値(2倍のTTRT)の要件を堅持する条件でタイムクリティカルデータの送信時間を2倍のTTRTまで可変とし、ダイナミックなトラヒック負荷に対する送信制御を行うタイムクリティカル通信プロトコル拡張通信方式(TTCP/VH)を提案した。

さらに2TTRT経過までトークンを保持できる機能を具体的に定義した。

(2)提案したTTCP/VHについてシミュレーションにより、以下に示す通信特性について、TTCPとの比較を交えつつ明らかにした。

- ・特定ノードに対する過大なタイムクリティカルデータ到着のタイムクリティカル性への影響
- ・過大なタイムクリティカルデータが到着するノード数のタイムクリティカル性への影響
- ・タイムウィンドウ値によるタイムクリティカル性への影響

(3)この結果、複数の負荷ノードを有する構成においてタイムウィンドウ内に送信されたデータの割合はTTCPに比べ大幅に増加し、ふくそう時の性能は改善された。また、有効データ率は負荷ノードの入力トラヒック量とLANの伝送帯域の関係に依存し、この伝送帯域を効率的に利用することが判明した。すなわち、主な特長として次の3点が挙げられる。

- ・TCCPの性質を受け継ぐとともに、負荷ノードのふくそう状況にかかわらずタイムクリティカルデータをタイムウィンドウ内に効率的に送る
- ・非タイムクリティカルデータの転送率低下を抑制し、悪影響を与えない
- ・負荷ノード数が増えるにつれて、各ノードの有効データ率は平準化する

(4)従来のTTCPでは、特定のノードにタイムクリティカルデータの負荷が集中した場合でも、負荷ノードがTTRT時間で必ずトークンを開放しなければならず、一巡して戻ってくるまでに、タイムクリティカルデータの廃棄がより多く発生した。

しかしながら本プロトコルでは負荷ノードが優先して転送を続けることができるため、従来のTCCPに比べ6倍強の性能向上が得られることが示された。また、TCCP/VHのトークン制御は比較的容易に実現できるため、集中制御形態のプラントコントロール等に本プロトコルを適用することによりコスト/パフォーマンスの良いシステムを構築できるものと考えられる。

第4章 同期データ転送メカニズムを利用した帯域予約プロトコル

Timed Token Protocol上にRSVPをマッピングした帯域予約プロトコルを提案し、シミュレーションによりその有効性を確認する。LAN上にTCP-IP帯域予約を初めて可能とするもので、その研究的意義は大きい。

(1)媒体共有型の LAN 環境で同期データ転送のメカニズムを有効に活用して QOS を保証するため、RSVP において帯域を予約されたデータを TTP の同期データ (TTHT/TTRT で転送レートを保証, 2 TTRT を小さくすることで伝送遅延時間を保証) にマッピングする通信方式を提案した。

さらにノード間におけるデータ転送フローと RSVP からの帯域予約要求を TTP の同期データ転送帯域要求にマッピングする機能を定義した。

(2)通信形態として平均分散負荷モデルと集中負荷モデルを設定して、提案プロトコルによる帯域予約後の下記通信特性についてシミュレーションにより明らかにした。

- ・帯域予約データの負荷が、その有効データ転送率に与える影響
- ・帯域予約データの負荷が、その伝送遅延時間に与える影響
- ・帯域予約データの負荷が、非帯域予約データ伝送遅延時間に与える影響

(3)この結果、本帯域予約機構は通信形態によらず帯域予約分の RSVP データが有効データとして、残り分で non-RSVP データが転送されており、その有効性が判明した。本プロトコルの主な特長を以下に示す。

- ・RSVP からの要求により予約帯域が動的に増減した場合でも、各要求はノード単位の予約帯域分に動的にマッピングされ続ける
- ・RSVP データ負荷が予約帯域以下の時、伝送遅延時間は 2 倍の TTRT 以下になる
- ・一般的に予約した帯域の 8 割を越えるポアソン到着したデータが一時的に予約帯域をオーバーフローするため、伝送遅延時間は増加する
- ・予約帯域の残り分が存在する限り、非帯域予約データの伝送遅延時間は帯域予約データの負荷増減に影響を受けない
シミュレーションにより明らかになったが、どちらのモデルでも予約帯域をオーバーした場合には RSVP データ伝送遅延比率は指数関数的に減少する。したがって、アプリケーションは予約帯域以上の負荷が発生しないように、データの発生分布をきめ細かく把握しながら動作する必要がある。

第 5 章 リアルタイム通信系への非リアルタイム通信系の収容

従来の通信回線による既存システムを、アプリケーションを変更することなく LAN に接続してリアルタイム通信プロトコルと共存させる透過プロトコル変換方式を提案する。さらに実機による各種評価により、その有効性を立証する。本論文では、既存の通信システムから LAN における標準 OSI プロトコルを採用した通信システムへの移行と共存を可能とする透過プロトコル変換方式を提案し、既存のプロトコルとして最も利用されている無手順、BSC、および SDLC のプロトコル透過性の方式を明らかにするとともに、その具体例として標準の LAN アクセス方式であるトークンバスに適用した場合の性能評価と本方式の有効性を示した。

第 6 章 結 論

TTP を基本に独自のアルゴリズムを追加したタイムクリティカル通信プロトコルを、次にトークン保持時間を動的に変更できるよう改良したトークン保持時間可変タイムクリティカル通信プロトコルを提案・評価した。さらにトークン保持時間を調節することにより実現した TTP の同期データ転送メカニズムを利用した帯域予約プロトコルについて提案・評価を行った。また、従来の通信回線による既存システムを LAN に接続してリアルタイム通信プロトコルと共存させる透過プロトコル変換方式についても提案し、実機による各種評価を行った。

本論文においては、タイムクリティカル通信プロトコルと同期データ転送メカニズムを利用した帯域予約プロトコルを全く別のプロトコル体系として考察したが、今後はこれら 2 つのプロトコルの連携が重要な課題となろう。さらに、これらの研究成果を踏まえてアプリケーションにおける要求帯域の抑制や帯域オーバー時の処理方法、帯域予約機構を利用したサービスクラスについても検討するつもりである。

審 査 結 果 の 要 旨

プラント制御やファクトリオートメーションなどの制御システムでは、制御データだけでなく、動作状況などの監視のために大容量データをリアルタイムに送受信するネットワークが必要となっている。このようなネットワークの実現においては、優れた処理性能をもつネットワークプロトコル、すなわち、リアルタイム通信プロトコルが重要である。しかしながら、現状では、制御システムなどの実際のフィールドで稼働しているものは少なく、制御用 LAN を対象とした研究もほとんど行われていないため、その研究開発が急務となっている。そこで著者は、制御用 LAN における通信制御方式に関して、タイムクリティカル通信プロトコル、帯域予約プロトコル、及び、これらのプロトコルを LAN 環境上で効果的に活用するための手法について詳細な研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全編 6 章から成る。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、高負荷時の性能低下を防ぎ、かつタイムクリティカル通信に適したプロトコルとして、FDDI-LAN に使用されている時刻付きトークンプロトコル (TTP) に独自のアルゴリズムを追加した効果的なプロトコルを提案・評価し、高速性と共に時間的制約保証が可能となることを示している。この結果は、指定された時間内にデータ転送を行う必要がある LAN において有用となる。

第 3 章では、特定ノードの高負荷時の性能低下を防ぎ、かつタイムクリティカル通信に適したプロトコルとして、TTP を基に、トークン保持時間の動的制御方式のアルゴリズムを提案すると共に、シミュレーションによって動作特性を評価し、その有効性を検証している。提案方式は、LAN を利用した処理形態に依存せずに時間的制約保証を実現するもので、特にプラント制御などへの応用において重要な方式といえる。

第 4 章では、TTP に基づく資源予約型プロトコルの枠組みを実現する帯域予約プロトコルを提案し、シミュレーションにより有効性を確認している。これは、LAN 上で TCP-IP の帯域予約機能を効果的に活用する新しい方式である。

第 5 章では、アプリケーション向きの既存のプロトコルを利用する通信システムにおいて、アプリケーションプログラムを変更することなく LAN に接続し、既存のプロトコルとリアルタイム通信プロトコルとの共存を実現する透過プロトコル変換方式を提案している。さらに、実際の動作環境を用いた各種評価により、提案方式の実用化における有効性を示している。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、時間的制約を保証する新しい通信制御プロトコルを提案し、制御用 LAN を効果的に構成するための基礎を与えたものであり、情報通信工学及び情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (情報科学) の学位論文として合格と認める。